

Utilização da Relação Potência-tempo até Exaustão em Testes de Caminhada Para Avaliação da Aptidão Aeróbia



Use of the Power-time Until Exhaustion Relationship in Walk Tests to Evaluate Aerobic Fitness

Guilherme Morais Puga¹
Fábio Yuzo Nakamura²
Herbert Gustavo Simões¹
Eduardo Kokubun³
Carmen Sílvia Grubert Campbell¹

1. Universidade Católica de Brasília-UCB – DF, Brasil.
2. Universidade Estadual de Londrina - PR, Brasil.
3. Universidade Estadual Paulista-Unesp – Rio Claro - SP, Brasil.

Endereço para correspondência:
Prof. Guilherme Morais Puga e Prof^ª.
Carmen S. G. Campbell
Universidade Católica de Brasília
Programa de Mestrado e Doutorado
em Educação Física – Sala G 119
QS07 LT1 EPCT, Águas Claras,
72022-900 – Taguatinga, DF, Brasil.
Tels.: 55 (61) 3356-9350 / 55 (61)
3356-9330
Fax: 55 (61) 3356-9350 / 55 (61)
3344-0098
E-mail: guipuga@yahoo.com.br

Submetido em 03/04/2008
Versão final recebida em 18/06/2008
Aceito em 28/11/2008

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar a aptidão aeróbia em testes de caminhada com carga externa aplicada por meio da inclinação da esteira, a partir da relação não linear entre inclinação da esteira e tempo até a exaustão em velocidade fixa. Doze indivíduos do gênero masculino com $23,2 \pm 2,7$ anos de idade, $74,0 \pm 7,9$ kg de massa corporal e $23,7 \pm 2,5$ kg·(m²)⁻¹ de IMC, realizaram duas etapas de testes de caminhada em esteira ergométrica com velocidade fixa de 5,5km·h⁻¹ em todos os testes e sobrecarga de intensidade aplicada por meio de inclinação da esteira (%). A etapa 1 consistiu de três testes retangulares até a exaustão voluntária, nas intensidades de 18%, 20% e 22% de inclinação, para determinação dos parâmetros do modelo de potência crítica por dois modelos lineares e um hiperbólico. A etapa 2 consistiu na determinação da intensidade correspondente ao máximo estado estável de lactato sanguíneo (MEEL). ANOVA demonstrou que o modelo hiperbólico ($15,4 \pm 1,1\%$) resultou em estimativa significativamente menor que os outros dois modelos lineares inclinação-tempo⁻¹ ($16,0 \pm 1,0\%$) e hiperbólico linearizado tempo⁻¹-inclinação ($15,9 \pm 1,0\%$), porém, houve alta correlação entre os modelos. Os dois modelos lineares superestimaram a intensidade do MEEL ($14,1 \pm 1,4\%$), e o modelo hiperbólico, mesmo sem diferença estatística, apresentou fraca correlação, com baixa concordância em relação ao MEEL. Conclui-se que a relação inclinação-tempo até a exaustão, em testes de caminhada, não permitem a estimativa de intensidade de exercício suportável por longo período de tempo.

Palavras-chave: testes de caminhada, máximo estado estável de lactato, inclinação crítica.

ABSTRACT

The aim of the present study was to evaluate aerobic fitness during walk tests with workload increased by treadmill inclination, based on non-linear relationship between treadmill inclination and time until exhaustion in steady velocity. Twelve male subjects, 23.2 ± 2.7 years old, 74.0 ± 7.9 kg of body mass and 23.7 ± 2.5 kg·(m²)⁻¹ of BMI, performed two phases of treadmill walk tests with steady velocity during all tests of 5.5 km·h⁻¹ and intensity workload applied on the treadmill inclination (%). Phase 1 consisted of three rectangular tests until voluntary exhaustion at 18%, 20% and 22% of inclination intensity, for critical power parameters determination, by using two linear models and a hyperbolic model. Phase 2 consisted of determination of the maximal blood lactate steady state (MLSS) intensity. ANOVA showed that the hyperbolic model (15.4 ± 1.1 %) underestimated both linear models: linear inclination-time⁻¹ (16.0 ± 1.0 %) and hyperbolic linear time⁻¹-inclination (15.9 ± 1.0 %); however, there was high correlation. Both linear models overestimated the MLSS intensity ($14.1 \pm 1.4\%$), and although there was no difference between the MLSS and the hyperbolic model, they had low correlation and there was a lower agreement. In conclusion, the inclination-time to exhaustion ratio in walk tests does not show an exercise intensity that can be bearable for a long period of time.

Keywords: walk tests, maximum lactate steady state, critical inclination.

INTRODUÇÃO

A avaliação de indicadores da aptidão aeróbia (ApAer) tem sido amplamente utilizada, pois proporciona uma prescrição adequada de intensidades de exercícios, não somente para atletas, mas também para indivíduos sedentários, inativos e populações especiais, como idosos, obesos, diabéticos e hipertensos⁽¹⁻³⁾.

Dentre diversos métodos utilizados para a avaliação da ApAer, o modelo de potência crítica (PC), proposto na década de 60 por Monod e Scherrer⁽⁴⁾, vem sendo bastante estudado, tendo como base a relação hiperbólica entre potência-tempo de exaustão em exercícios severos⁽⁵⁾. A assíntota dessa relação representa hipoteticamente a mais alta carga de trabalho associada ao estado estável das trocas de gases pulmonares, do equilíbrio ácido-básico sanguíneo, e da concentração de lactato [Lac], refletindo a máxima potência que pode ser sustentada sem progressiva contribuição anaeróbia^(5,6).

Com o aumento da taxa de trabalho acima da assíntota da relação potência-tempo, o tempo de tolerância ao esforço diminui, devido à concomitante utilização dos estoques finitos de energia anaeróbia (capacidade de trabalho anaeróbio - CTA), cuja depleção causaria a exaustão de acordo com os pressupostos do modelo⁽⁵⁻⁷⁾.

Essa relação foi previamente estudada em diferentes modos de exercício, como corrida, natação, ciclismo e caiaque-ergômetro, principalmente em indivíduos saudáveis e atletas⁽⁸⁻¹¹⁾, e também em alguns estudos com indivíduos sedentários, incluindo pacientes com DPOC^(1,12).

Dessa forma, a possibilidade de se utilizar protocolos que avaliem a ApAer por meio da caminhada como forma de exercício parece constituir uma possibilidade interessante, por ser este o gesto motor mais utilizado pela população em geral. O Colégio Americano de Medicina do Esporte⁽¹³⁾ não apresenta contra-indicações à prática dessa atividade para nenhuma população, desde que sejam respeitadas as características dos sujeitos na escolha das intensidades.

Em adição, testes de exercícios de caminhada podem ser utilizados tanto para diagnóstico de doenças cardiovasculares, quanto para a mensuração da aptidão funcional⁽¹⁴⁾, incluindo pacientes, obesos⁽¹⁵⁾, cardiopatas⁽¹⁶⁾ e idosos⁽¹⁷⁾.

Nesse sentido, a utilização do modelo de potência crítica possibilita a identificação da relação entre intensidade-tempo de exaustão na caminhada, bem como a verificação das respostas fisiológicas associadas à assíntota da curva. Protocolos não invasivos e de cargas constantes permitem melhor representação dos padrões naturais em atividades da vida diária, comparados com testes incrementais⁽¹⁾, especialmente aqueles realizados em corrida ou cicloergômetro.

Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar a possibilidade de avaliação da ApAer em testes de caminhada com carga externa aplicada por meio da inclinação da esteira, a partir da relação não linear entre inclinação da esteira e tempo até a exaustão em velocidade fixa. A validade do procedimento foi verificada a partir da comparação dos parâmetros gerados com a intensidade de exercício correspondente ao máximo estado estável de lactato sanguíneo.

MÉTODOS

Amostra

Este estudo foi realizado após aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Universidade Católica de Brasília. Após assinar um termo de consentimento livre e esclarecido, 12 indivíduos saudáveis, fisicamente ativos, do gênero masculino participaram deste estudo. As características individuais dos voluntários estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Características dos voluntários participantes do estudo.

Voluntários	Idade (anos)	Massa corporal (kg)	Estatura (cm)	IMC (kg·m ⁻²) ⁻¹
Média	23,2	74,0	176,8	23,7
DP (±)	2,7	7,9	4,3	2,5

Procedimentos

Após familiarização do indivíduo com o ergômetro utilizado, os voluntários foram submetidos a uma série de testes divididos em duas etapas. A etapa 1 consistia de três testes para determinação dos parâmetros do modelo de potência crítica e a etapa 2, na determinação da intensidade correspondente ao máximo estado estável de lactato sanguíneo. Os voluntários eram instruídos a vir em todos os dias de testes devidamente trajados e hidratados, com intervalo de duas horas a partir da última refeição, e abstinência de cafeína e álcool nas 24 horas precedentes a cada teste.

A sequência dos testes na etapa 1 era aleatória, empregando-se o quadrado latino de distribuição de testes para todos os voluntários. Todos os testes eram realizados com intervalo de no mínimo quatro dias e máximo de uma semana entre eles, para que não se caracterizasse um programa de treinamento, o que poderia influenciar nos resultados dos testes. Além disso, todos os voluntários terminaram a sequência de testes com no máximo sete semanas de intervalo entre o primeiro e o último teste.

Todos os voluntários realizaram os testes no mesmo horário do dia, com variação de no máximo uma hora, respeitando as influências do ciclo circadiano. A temperatura média do laboratório onde foram realizados os testes foi de 22,5 ± 1°C, com umidade relativa do ar de 65 ± 10%.

Todos os testes foram realizados em uma esteira ergométrica (*Movement Technology – RT300 PRO*), conectada a um computador e a um analisador de gases (*Cortex Biofysik mod. Metalyzer 3B*, Alemanha), para mensuração das variáveis ventilatórias. Durante todos os testes a frequência cardíaca foi monitorada por um frequencímetro cardíaco *Polar* (modelo *S810i*).

As intensidades utilizadas em todos os testes foram controladas por meio da inclinação da esteira (%), sendo a velocidade mantida fixa em 5,5km·h⁻¹, correspondente a um padrão motor de caminhada.

Etapa 1 - Testes de carga constante para determinação da inclinação crítica (ICrit)

Os voluntários realizaram três testes retangulares de carga constante até a exaustão, em diferentes intensidades de esforço, para cálculo da ICrit, em sequência aleatória. As intensidades foram equivalentes a inclinações de 18%, 20% e 22%. Essas intensidades foram escolhidas a partir dos resultados do estudo-piloto, de maneira que a exaustão dos voluntários ocorresse aproximadamente dentro de uma faixa de tempo de três a 15 minutos, o que seria ideal para a aplicação do modelo de potência crítica⁽⁷⁾.

Durante todos os testes, foram coletadas as variáveis ventilatórias e a frequência cardíaca. O critério para interrupção desses testes era a exaustão voluntária do indivíduo, determinada pela incapacidade de tolerar a intensidade na esteira, associada a percepção subjetiva de esforço (PSE) de 19-20.

Determinação da inclinação crítica (ICrit)

A partir dos resultados obtidos nos testes de velocidade constante nas três diferentes inclinações (18%, 20% e 22%), a relação entre a inclinação e o tempo de exaustão foi ajustada para estimar a ICrit e a CTA.

Para tanto, foram utilizadas as equações seguintes:

Modelo hiperbólico inclinação-tempo: $t_{lim} = CTA \cdot (IC_{lim} - ICrit)^{-1}$

Modelo linear inclinação-tempo⁻¹: $IC_{lim} = (CTA \cdot t_{lim}^{-1}) + ICrit$

Onde:

t_{lim} = Tempo total até a exaustão;

IC_{lim} = Inclinação utilizada para a determinação do tempo de exaustão;

ICrit = Inclinação crítica;

CTA = Capacidade de trabalho anaeróbia.

Uma terceira equação foi utilizada para estimar os valores da ICrit, transformando a relação hiperbólica entre inclinação e tempo de exaustão em uma relação linear, mantendo o t_{lim} à esquerda da equação como variável dependente e a inclinação do lado direito como variável independente. Essa relação corresponde à seguinte equação:

$$\text{Modelo hiperbólico linearizado tempo}^{-1}: \text{Inclinação } (t_{lim})^{-1} = (IC_{lim} \cdot CTA^{-1}) - (ICrit \cdot CTA^{-1})$$

Onde:

t_{lim} = Tempo total até a exaustão;

IC_{lim} = Inclinação utilizada para a determinação do tempo de exaustão;

ICrit = Inclinação crítica;

CTA = Capacidade de trabalho anaeróbia.

Os ajustes lineares e não lineares foram obtidos a partir do programa *Statistica* 6.0. A figura 1 demonstra um exemplo da determinação da ICrit pelos três modelos.

Etapa 2 - Teste para identificação do máximo estado estável de lactato (MEEL)

Para identificação do MEEL, os voluntários foram submetidos a testes retangulares de 30 minutos de caminhada com velocidade constante de $5,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (padrão em todos os testes) e inclinação constante. Os testes eram desempenhados em dias diferentes, com acréscimo ou decréscimo de 1% de inclinação até o sujeito apresentar equilíbrio dinâmico de lactato durante o teste, sendo a inclinação inicial correspondente a 1-2% abaixo da ICrit. A intensidade correspondente ao MEEL foi considerada como a maior inclinação da esteira na qual a variação de lactato não fosse superior a 1 mM, nos últimos 20 minutos de exercício, de acordo com Beneke e Von Duvillard⁽¹⁸⁾.

Para a análise lactatêmica (*YSL 2300 STAT*, Yellow Spring, OH, EUA), foram coletados 25 μl de sangue, no momento precedente ao teste, e, durante o teste, nos minutos 10, 20 e 30, sem que o indivíduo interrompesse o esforço. Para todos os voluntários, a coleta de sangue foi realizada em tempo máximo de 20 segundos.

Tratamento estatístico

Os valores das variáveis coletadas estão expressos a partir da estatística descritiva com valores de média \pm desvio padrão. Previamente à análise estatística, foi aplicado um teste de normalidade (Shapiro-Wilks) para as variáveis intervenientes, e todas elas apresentaram distribuição normal.

A comparação entre os modelos para determinação da ICrit e das inclinações correspondentes aos parâmetros avaliados, foi realizada empregando-se análise de variância (ANOVA) para medidas repetidas; na identificação das possíveis diferenças captadas pela ANOVA, foi adotado o teste *post-hoc* de Scheffé.

Quando comparadas apenas as variáveis no teste de MEEL nos minutos 10 e 30, foi aplicado teste *t* de Student pareado.

Para verificar o grau de correlação entre os as estimativas da ICrit e o MEEL, foi adotado teste de correlação linear de Pearson. O nível de significância adotado no estudo foi de $p < 0,05$.

A técnica de Bland e Altman⁽¹⁹⁾ foi aplicada para estabelecer o índice de concordância entre as variáveis analisadas.

RESULTADOS

Os resultados do t_{lim} dos voluntários nas três intensidades utilizadas para cálculo da ICrit foram de 719 ± 346 , 411 ± 222 e 248 ± 151 s, respectivamente, para as inclinações equivalentes a 18%, 20% e 22% (tabela 2). Houve diferença significativa entre os t_{lim} e também alta correlação entre essas variáveis ($r = 0,82$; $r = 0,85$ e $r = 0,94$ para t_{lim} 18% e 20%, t_{lim} 18% e 22% e t_{lim} 20% e 22%, respectivamente). Além disso, a relação entre os t_{lim} e as intensidades de esforço foi inversa ($r = -0,98$).

Tabela 2. Valores dos tempos até exaustão (t_{lim}) nas três intensidades 18%, 20% e 22%, e das inclinações correspondentes à ICrit (%) determinados pelos métodos linear inclinação-tempo⁻¹ (linear 1), hiperbólico linearizado tempo⁻¹-inclinação (linear 2) e hiperbólico, e máximo estado estável de lactato (MEEL)

	t_{lim} 18%	t_{lim} 20%	t_{lim} 22%	ICrit Linear 1	ICrit Linear 2	ICrit Hiperbólico	MEEL
	(s)	(s)	(s)	(%)	(%)	(%)	(%)
Média	719,3 ^a	411,3 ^b	248,0 ^c	16,0	15,9	15,4*	14,1*
DP	346,6	222,0	151,0	1,0	1,0	1,1	1,4

^a $p < 0,05$ em relação a t_{lim} 20% e 22%; ^b $p < 0,05$ em relação a t_{lim} 18% e 22%; ^c $p < 0,05$ em relação a t_{lim} 18% e 20%; * $p < 0,05$ em relação aos modelos linear 1 e linear 2.

Apenas dois voluntários tiveram t_{lim} superior ao intervalo estipulado para determinação da ICrit entre três e 15 minutos na intensidade de 18%, e três indivíduos tiveram t_{lim} menor que esse intervalo na intensidade de 22%.

A tabela 2 mostra os valores de ICrit dos voluntários, determinadas pelo método hiperbólico, linear inclinação-tempo⁻¹ (linear 1) e hiperbólico linearizado tempo⁻¹-inclinação (linear 2). O modelo hiperbólico ($15,4 \pm 1,1\%$) resultou em estimativa significativamente menor que nos outros dois modelos: linear inclinação-tempo⁻¹ ($16,0 \pm 1,0\%$) e hiperbólico linearizado tempo⁻¹-inclinação ($15,9 \pm 1,0\%$). Porém, houve alta correlação entre eles, conforme a tabela 3.

Tabela 3. Matriz da correlação entre MEEL e as estimativas das ICrit pelos modelos linear inclinação-tempo⁻¹ (linear 1), modelo hiperbólico linearizado (linear 2) e hiperbólico

	Linear 1	Linear 2	Hiperbólico	MEEL
Linear 1	-	0,99*	0,79*	0,01
Linear 2	-	-	0,85*	-0,02
Hiperbólico	-	-	-	0,03
MEEL	-	-	-	-

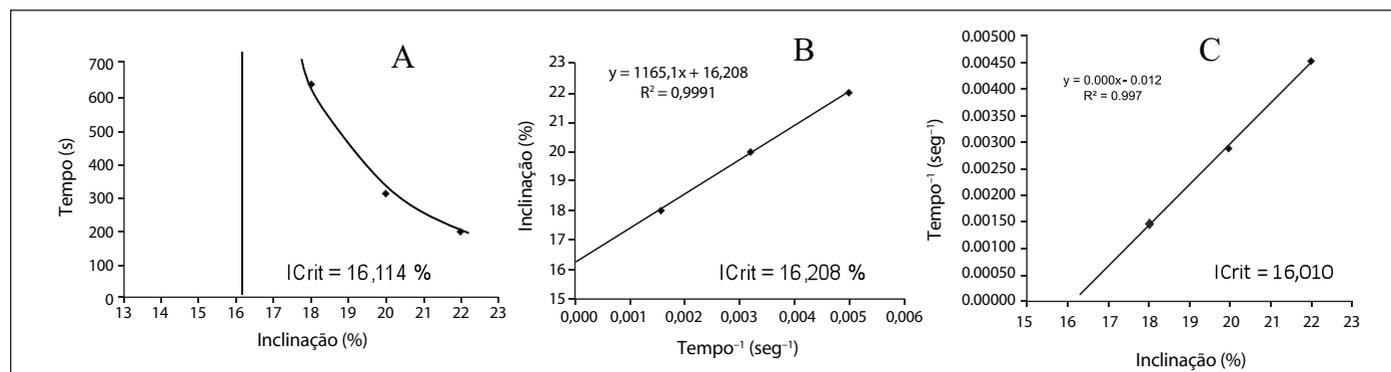


Figura 1. Figura ilustrativa dos modelos hiperbólico (A), linear inclinação-tempo⁻¹ (B), e hiperbólico linearizado (C), utilizados para determinação da ICrit

Na figura 2 estão ilustradas as plotagens dos valores médios das estimativas da ICrit (eixo x) e as diferenças individuais entre ambas as estimativas (eixo y). Essa técnica⁽¹⁹⁾ foi utilizada para permitir a visualização de vieses entre estimativas da ICrit fornecidas pelos três modelos e dos limites de concordância entre elas (\pm dois desvios-padrão). As diferenças médias \pm limites de concordância foram de $-0,6 \pm 1,3$ % entre o modelo linear 1 e hiperbólico, de $-0,1 \pm 0,2$ % entre o modelo linear 1 e linear 2, e de $0,5 \pm 1,1$ % entre o modelo hiperbólico e linear 2.

O valor médio de inclinação correspondente ao MEEL foi de $14,1 \pm 1,4$ %, com valores correspondentes a lactatemia, glicemia, FC, PSE, VO_2 , VE, VCO_2 , e RER apresentados na tabela 4. Para análise dessas variáveis foram utilizados os valores médios entre o 10° e 30° minutos de teste.

Tabela 4. Valores de inclinação, lactatemia, frequência cardíaca, percepção subjetiva de esforço, consumo de oxigênio, ventilação pulmonar, produção de gás carbônico e razão de trocas respiratórias correspondentes à média entre o 10° e 30° min na intensidade do máximo estado estável de lactato

	Inclinação	Lactato	FC	PSE	VO_2	VE	VCO_2	RER
	(%)	mM	bpm		L·min ⁻¹	L·min ⁻¹	L·min ⁻¹	
Média	14,1	5,2	170	16	2,9	86,7	2,9	0,98
DP	1,4	1,9	8	2	0,4	12,2	0,5	0,06

A tabela 5 mostra os valores da variação (Δ) encontrados entre o 10° e 30° minutos dessas variáveis, durante o teste retangular na intensidade correspondente ao MEEL. Houve diferença significativa nos valores de lactato, FC, VE e PSE entre os 10° e 30° minutos.

Não houve diferença entre as inclinações correspondentes à ICrit pelo modelo hiperbólico ($15,4 \pm 1,1$) e MEEL ($14,1 \pm 1,4$ %); porém, a correlação entre as variáveis foi baixa (tabela 3). Na figura 2 está ilustrada a plotagem da técnica de Bland e Altman⁽¹⁹⁾ entre as estimativas da ICrit hiperbólica e MEEL. A diferença média \pm limite de concordância foi de $-1,3 \pm 3,9$ %.

Tabela 5. Valores das variações (Δ) de lactatemia, glicemia, frequência cardíaca, percepção subjetiva de esforço, consumo de oxigênio, ventilação pulmonar, produção de gás carbônico e razão de trocas respiratórias, entre o 10° e 30° minutos do teste retangular na intensidade do máximo estado estável de lactato

Voluntário	Δ Lactato	Δ FC	Δ PSE	Δ VO_2	Δ VE	Δ VCO_2	Δ RER
	mM	bpm		L·min ⁻¹	L·min ⁻¹	L·min ⁻¹	
Média	0,55	12	2	0,04	8,45	0,07	0,01
DP	0,44	7	1	0,15	6,77	0,18	0,02

DISCUSSÃO

O presente estudo verificou a possibilidade de avaliar a ApAer em testes de caminhada, a partir da relação não linear entre inclinação da esteira e tempo até a exaustão em velocidade fixa. Os principais achados deste estudo foram que a ICrit determinada por modelos lineares superestima a intensidade correspondente ao MEEL; já a ICrit determinada pelo modelo hiperbólico não apresentou diferença estatística com o MEEL. Porém, ainda assim, parece não representar a intensidade de exercício sustentável por um período prolongado e com estabilidade de Lac e VO_2 , uma vez que a correlação entre as variáveis, bem como a concordância, foi baixa.

Para alguns autores, a PC e o MEEL representam o mesmo fenômeno fisiológico e ambos poderiam ser utilizados para demarcar o limite entre os domínios de intensidade pesado e severo de exercício. Assim, representariam o limite superior de produção de energia aeróbia estável, com estabilização de VO_2 e de lactato e pH sanguíneo^(5,20).

Exercícios realizados no domínio severo, ou seja, em intensidades acima da PC ou MEEL, não apresentariam estabilidade de lactato sanguíneo e VO_2 , levando o indivíduo a alcançar o VO_{2max} com concomitante fadiga^(5,20,21).

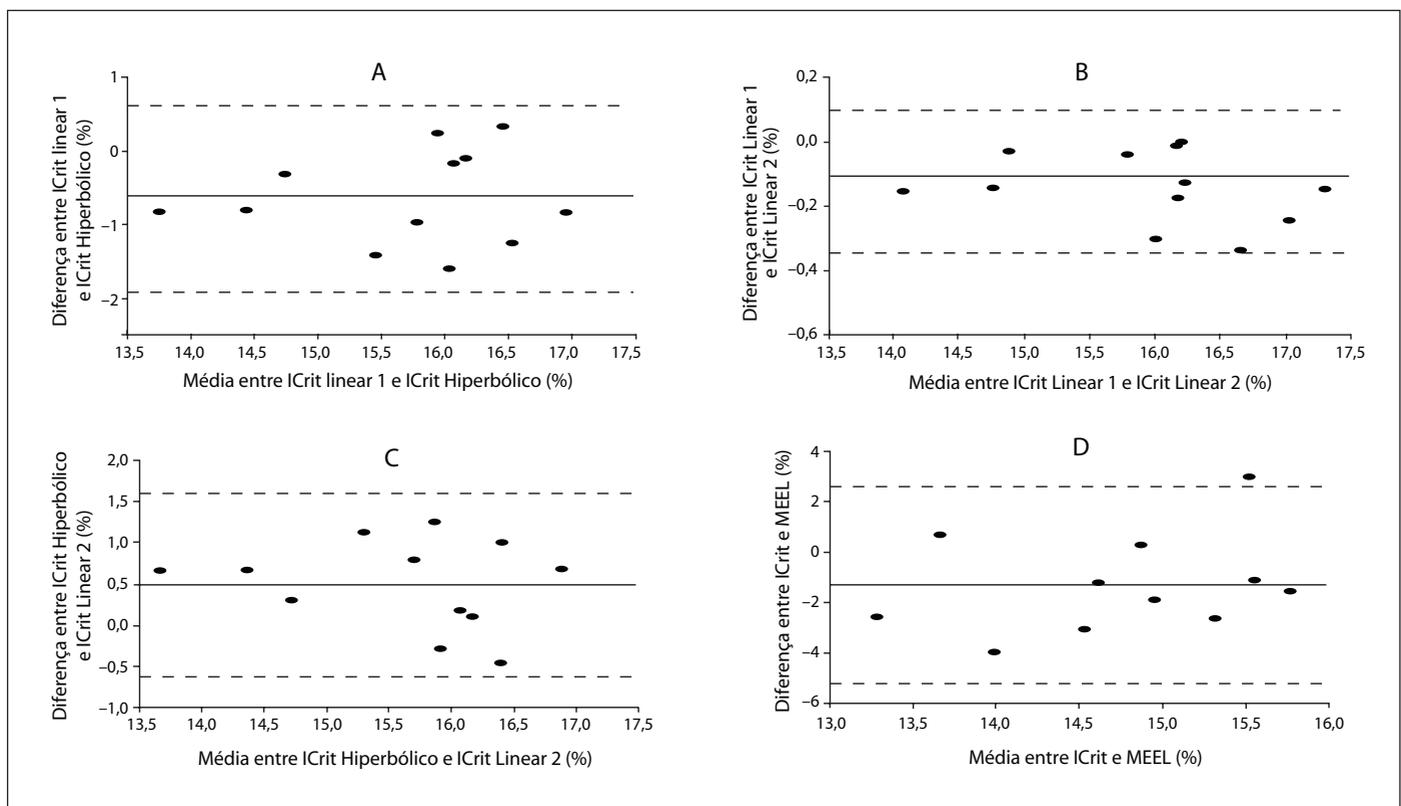


Figura 2. Plotagem de Bland e Altman para estabelecer o limite de concordância entre as estimativas da ICrit linear 1 e da ICrit-Hip (A); ICrit linear 1 e ICrit linear 2 (B); ICrit linear 2 e da ICrit-Hip (C); e da ICrit-Hip e MEEL (D).

Em nosso estudo, não houve diferença entre as inclinações correspondentes à ICrit pelo modelo hiperbólico ($15,4 \pm 1,1\%$) e o MEEL ($14,1 \pm 1,4\%$). Já as estimativas dos modelos linear 1 ($16,0 \pm 1,0\%$) e linear 2 ($15,9 \pm 1,0\%$) superestimaram a intensidade referente à ICrit não linear e MEEL, e, possivelmente, a tolerância ao exercício nessas intensidades seria menor que 30 minutos. Isso demonstra que os modelos lineares aplicados neste estudo, a partir de resultados de séries preditivas com t_{lim} entre 3-15 minutos, não permitem a estimativa de intensidade de exercício suportável por um longo período de tempo na caminhada.

Resultados similares foram encontrados em outros estudos utilizando diferentes modos de exercício. Pringle e Jones⁽²⁰⁾ verificaram que a intensidade correspondente à PC ($242 \pm 25W$) e ao MEEL ($222 \pm 23W$) não foram similares, assim como Dekerle *et al.*⁽²²⁾, que verificaram que tanto a carga absoluta de trabalho ($239 \pm 21W$ e $278 \pm 22W$, para MEEL e PC, respectivamente) quanto à carga relativa ao VO_{2max} ($74 \pm 4\%$ e $85 \pm 5\%$, para MEEL e PC, respectivamente) foram maiores na intensidade correspondente à PC.

Esses resultados indicam que PC pode não corresponder à intensidade de exercício que pode ser sustentada por um longo período de tempo sem um aumento contínuo da [Lac] sanguínea e/ou sem ocorrência prematura da exaustão^(10,20,21), corroborando os resultados de alguns estudos que testaram o tempo de permanência na carga de PC^(23,24).

Os estudos de Housh *et al.*⁽²⁵⁾ e Pepper *et al.*⁽²⁶⁾ demonstraram que esses modelos superestimam o limiar de fadiga, ou seja, a intensidade de exercício que poderia ser mantida por um tempo prolongado (mais 30 min, conforme proposto inicialmente por Monod e Scherrer⁽⁴⁾ e Moritani *et al.*⁽⁸⁾).

As controvérsias encontradas nos estudos sobre a similaridade do MEEL e PC podem ser explicadas pelo tipo de modelo utilizado para o cálculo do parâmetro, pois cada estudo utilizou um modelo diferente.

Em nosso estudo, de forma semelhante ao estudo de Simões *et al.*⁽¹¹⁾, os modelos lineares não diferiram entre si ($16,0 \pm 1,0\%$ e $15,9 \pm 1,0\%$ para linear 1 e linear 2, respectivamente). Contudo, a estimativa da ICrit pelo modelo hiperbólico ($15,4 \pm 1,1\%$) foi menor que a encontrada pelos modelos lineares, contrariando o resultado de Hill e Smith⁽²⁷⁾ que não encontraram diferenças entre estes modelos. Porém, alguns estudos demonstram que o modelo linear Potência-Tempo⁻¹ superestima o valor da PC estimada pelo modelo hiperbólico⁽²¹⁾.

A análise de Bland e Altman revelou grande variação, quando analisados os valores individuais das diferenças na estimativa da ICrit entre o modelo hiperbólico e linear inclinação-tempo⁻¹, ao contrário da análise entre as estimativas da ICrit pelos modelos lineares, que não apresentaram diferença de estimativa expressiva.

Outro fator que poderia comprometer a estimativa da PC é a faixa de t_{lim} escolhida para as cargas constantes, que influencia diretamente em seu cálculo. Segundo Vautier *et al.*⁽²⁸⁾ e Vandewalle *et al.*⁽²⁹⁾, a PC pode corresponder a um estado estável de lactato apenas quando calculada a partir de exercícios com t_{lim} entre seis e 35 min. Isso pode explicar os resultados de alguns estudos em que a PC superestimou o MEEL, bem como a baixa tolerância ao esforço nessa intensidade de exercício.

No presente estudo, apesar de não ter havido diferença entre ICrit pelo modelo hiperbólico e MEEL, houve tendência de esta primeira superestimar a intensidade de exercício tolerável por no mínimo 30 minutos, assim como ocorreu nos modelos lineares, possivelmente devido ao cálculo ter sido feito com t_{lim} médio entre três e 15 minutos. Além disso, a baixa correlação entre as variáveis, assim como a baixa concordância entre as estimativas, leva a crer que a ICrit não pode ser utilizada como aproximação não invasiva do MEEL neste modo de exercício.

Isso corrobora os resultados de estudos em que a PC foi estimada com t_{lim} curtos. Nesses casos, ela não representou de forma acurada a intensidade de exercício tolerável por mais de 30 minutos e, sim, por aproximadamente 20 e não mais que 40 minutos^(28,29).

CONCLUSÕES

Conclui-se que a relação inclinação-tempo até a exaustão, utilizando séries preditivas com t_{lim} entre três e 15 minutos em testes de caminhada, não permite a estimativa de intensidade de exercício suportável por um longo período de tempo. Portanto, esse parâmetro não representa intensidade de exercício relacionada com um máximo estado estável de lactato e VO_2 dentro da transição dos domínios de intensidade pesado e severo de exercício. Mais estudos são necessários para melhor aplicação da relação entre potência e tempo até a exaustão em testes de caminhada.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Neder JA, Jones PW, Nery LE, Whipp BJ. The effect of age on the power/duration relationship and the intensity-domain limits in sedentary men. *Eur J Appl Physiol* 2000;82:326-32.
- Tegtbir UJ, Machold H, Meyer H, Storp D, Busse MW. Bestimmung des Bereichs intensiver dauerleistungsfähigkeit bei Patienten mit koronarer Herzkrankheit. *Z Kardiol* 2001;90:637-45.
- Svedahl K, MacIntosh BR. Anaerobic threshold: The concept and methods of measurement. *Can J Appl Physiol* 2003;28:299-323.
- Monod H, Scherrer J. The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics* 1965;8:329-38.
- Gaesser G A, Poole D C. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exerc Sport Sci Rev* 1996;24:35-71.
- Walsh ML. Whole body fatigue and critical power: a physiological interpretation. *Sports Med* 2000;29:153-66.
- Hill DW. The critical power concept. *Sports Med* 1993;6:237-54.
- Moritani T, Nagata A, DeVries HA, Muro M. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics* 1981;24:339-50.
- Wakayoshi K, Yoshida T, Udo M, Harada T, Moritani T, Mutoh Y, et al. Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state? *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1993;66:90-5.
- Smith CG, Jones AM. The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. *Eur J Appl Physiol* 2001;85:19-26.
- Simões HG, Denadai BS, Baldissera V, Campbell CSG. Relationships and significance of lactate minimum, critical velocity, heart rate deflection and 3000m track test for running. *J Sports Med Phys Fitness* 2005;45:441-51.
- Malaguti C, Nery LE, Dal Corso S, De Fuccio MB, Lerario MC, Cedon S, et al. Alternative strategies for exercise critical power estimation in patients with COPD. *Eur J Appl Physiol* 2006;96:59-65.
- ACSM. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Philadelphia, Pa: Lippincott Williams & Wilkins, 7ª ed. 2006.
- Gubin SS, Judge RD. Graded exercise testing. *Am Fam Physician* 1987;35:123-9.
- Hulens M, Vansant G, Claessens AL, Lysens R, Muls E. Predictors of 6-minute walk test results in lean, obese and morbidly obese women. *Scand J Med Sci Sports* 2003;13:98-105.
- Eng JJ, Chu KS, Dawson AS, Kim CM, Hepburn KE. Functional walk test in individual with stroke. *Stroke* 2002;33:756-61.
- Kervio G, Carre F, Ville N. Reliability and intensity of the six-minute walk test in health elderly subjects. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:169-74.
- Beneke R, Von Duvillard SP. Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Med Sci Sport Exerc* 1996;28:241-6.
- Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986;1:307-10.
- Poole DC, Ward SA, Gardner GW, Whipp BJ. Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics* 1988;31:1265-79.
- Pringle JS, Jones AM. Maximal lactate steady state, critical power and emg during cycling. *Eur J Appl Physiol* 2002;88:214-26.
- Dekerle J, Baron B, Dupont L, Vanvelcenaher J, Pelayo P. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *Eur J Appl Physiol* 2003;89:281-8.
- Housh DJ, Housh TJ, Bauge SMA. The accuracy of the critical power test for predicting time to exhaustion during cycle ergometry. *Ergonomics* 1989;32:997-1004.
- Overend TJ, Cunningham DA, Paterson DH, Smith WD. Physiological response of young and elderly men to prolonged exercise at critical power. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1992;64:187-93.
- Housh TJ, Cramer JT, Bull AJ, Johnson GO, Housh DJ. The effect of mathematical modeling on critical velocity. *Eur J Appl Physiol* 2001;84:469-75.
- Pepper ML, Housh TJ, Johnson GO. The accuracy of the critical velocity test for predicting time to exhaustion during treadmill running. *Int J Sports Med* 1992;2:121-4.
- Hill DW, Smith JC. Determination of critical power by pulmonary gas exchange. *Can J Appl Physiol* 1999;24:74-86.
- Vautier JF, Vandewalle H, Arabi H, Monod H. Critical power as an endurance index. *Applied Ergonomics* 1995;26:117-21.
- Vandewalle H, Vautier JF, Kachouri M, Lechevalier JM, Monod H. Work-exhaustion time relationships and the critical power concept. A critical review. *J Sports Med Phys Fitness* 1997;37:89-102.